

## Beschreibung

### Vorrichtung und Verfahren zum Kalibrieren eines Massenstromsensors

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Kalibrieren eines Massenstromsensors. Die Vorrichtung wird gelegentlich auch als Fließbank bezeichnet.

Der Verbrennungsvorgang in einer Brennkraftmaschine hängt ganz wesentlich von der Menge der zugeführten Luft ab. Es werden daher Massenstromsensoren eingesetzt, die die Masse eines strömenden Gases fühlen. Einem gefühlten Messsignal in Form eines Strom- und Spannungswertes bzw. Periodendauerwertes bei getakteten Signalen wird nachfolgend ein Wert für den Massenstrom, beispielsweise in Kilogramm/Stunde, zugeordnet. Damit die gefühlten Messsignale die vorbeiströmende Masse korrekt wiedergeben, ist es erforderlich, den Massenstromsensor zu kalibrieren.

Aus DE 198 57 329 A1 ist eine Fließbank und ein Verfahren zum Prüfen und Kalibrieren eines Massenstromsensors bekannt. Bei der Fließbank werden ein zu kalibrierender Massenstromsensor und ein Referenz-Massenstromsensor hintereinander in einem Strömungskanal angeordnet. Eine Pumpe erzeugt einen Luftmassenstrom in dem Strömungskanal, wobei die beiden Massenstromsensoren stromaufwärts von einer Drosselklappe positioniert sind. Eine Position stromabwärts ist auch möglich. Eine Steuerung stellt die Drosselklappe in dem Strömungskanal, so dass der Massenstrom unterschiedlich stark ist. Aus den Messwerten des Referenz-Massenstromsensors werden die Werte für den zu kalibrierenden Massenstromsensor bestimmt. Bei der Bestimmung der Werte für den zu kalibrierenden Massenstromsensor müssen Druckverluste an dem stromaufwärts liegenden Sensor berücksichtigt werden.

In der noch nicht veröffentlichten deutschen Patentanmeldung DE 101 49 292.8 ist beschrieben, ohne Referenz-Massenstromsensor zu arbeiten. Hierbei wird über ein Standardventil in dem Strömungskanal ein Massenstrom-Zeit-Profil vorgegeben. Der zu kalibrierende Massenstromsensor wird in dem durch das Standardventil gestellten Luftmassenstrom anhand eines vorbestimmten Massen-Zeit-Profils kalibriert. Nachteilig an diesem, auch als masterlose Kalibrierung bezeichneten Verfahren ist, dass Temperatur- und Druckverlauf auf der Saugseite der Pumpe absolut konstant gehalten werden müssen. Etwaige Änderungen aufgrund der Umgebungstemperatur und/oder des Umgebungsdrucks können die Werte der Kalibrierung verfälschen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Kalibrierung eines Massenstromsensors bereitzustellen, das bzw. die oben genannte Nachteile vermeidet und besonders schnell und zuverlässig die Kalibrierung des Massenstromsensors gestattet.

Die zugrundeliegende Aufgabe wird durch eine Vorrichtung zum Kalibrieren eines Massenstromsensors mit den Merkmalen aus Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung bilden den Gegenstand der Unteransprüche.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung besitzt einen Strömungskanal und eine Halterung für einen zu kalibrierenden Massenstromsensor in dem Strömungskanal. Der Strömungskanal ist an einem Ende mit einer Pumpe verbunden, die Gas, insbesondere Luft durch den Strömungskanal fördert. Zwischen der Halterung und der Pumpe ist eine verstellbare Drosseleinrichtung vorgese-

hen. Die Drosseleinrichtung ist derart ausgelegt, dass bei einem Betrieb der Pumpe eine Strömung in dem engsten Querschnitt der Drosseleinrichtung mit Schallgeschwindigkeit erzeugt wird. Eine Steuereinrichtung verstellt die Drosseleinrichtung während des Kalibriervorganges gemäß einem vorbestimmten Zeit-Weg-Profil. Die verstellbare Drosseleinrichtung wird im überkritischen Betrieb betrieben, indem ein bestimmtes Druckverhältnis zwischen Eingangsdruck und Saugseiten-  
druck erzielt wird. Im überkritischen Betrieb der Drosseleinrichtung gilt, dass bei einer Änderung des Saugseitendrucks sich die Geschwindigkeit im engsten Querschnitt der Düse nicht ändert, und somit der Massenstrom durch die Drosseleinrichtung konstant bleibt. Eine Überwachung des saugseitigen Drucks kann entfallen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung handelt sich bei der verstellbaren Drosseleinrichtung um eine variable Düse. Als Vorteil hat sich herausgestellt, dass für eine überkritisch betriebene Düse der Massenstrom sehr genau aus Druck, Temperatur und relativer Luftfeuchte berechenbar ist.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung besitzt die variable Düse einen sich konisch erweiternden Abschnitt und einen in dem Abschnitt angeordneten Dorn, dessen Position über einen Antrieb in dem Abschnitt verstellbar ist, um den freien Querschnitt in dem Abschnitt zu verändern. Der Dorn besitzt hierbei bevorzugt die Form eines Kegels oder eines Kegelstumpfs, der zentral in dem Abschnitt angeordnet ist. Der Dorn ist bevorzugt entlang seiner Längsachse über den Antrieb verstellbar.

Bevorzugt sind zwischen Luftmassensensor und Drosseleinrichtung Sensoren zum Erfassen von Zustandsgrößen des Massen-

stroms angeordnet. Hierbei handelt es sich um Fühler für Temperatur, relative Luftfeuchte und Druck. Diese Werte werden verwendet, um den durchtretenden Massenstrom zu bestimmen.

Die erfindungsgemäße Aufgabe wird ebenfalls durch ein Verfahren mit den Merkmalen aus Anspruch 8 gelöst. Eine bevorzugte Weiterführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist Gegenstand von Anspruch 9.

In einem ersten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein zu kalibrierender Massenstromsensor in dem Strömungskanal angeordnet. In dem Strömungskanal wird ein Massenstrom erzeugt, dessen Werte mit der Zeit variieren. Der Massenstrom, der beispielsweise in den Einheiten von Kilogramm/Stunde angegeben wird, ändert sich in dem Strömungskanal. In dem Strömungskanal ist zusätzlich eine Drosseleinrichtung vorgesehen, die im engsten Querschnitt mit Schallgeschwindigkeit durchströmt wird. Gegenüber der herkömmlichen Rampenfließbank spielen hierbei Druck und Temperatur auf der Saugseite keine Rolle, so dass die Kalibrierung stabiler wird und schneller erfolgen kann. Hinzu kommt, dass das erfindungsgemäße Verfahren weitestgehend unabhängig von der Stabilität der Pumpsaugleistung ist.

In einer bevorzugten Weiterführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, ist als Drosseleinrichtung eine verstellbare Düse vorgesehen, die entsprechend einer vorgegebenen Zeitkurve den Massenstrom mit vorbestimmten Werten an dem zu kalibrierenden Massenstromsensor vorbeiführt.

Neben der vorstehend beschriebenen Kalibrierung kann die Erfindung auch zum Überprüfen und/oder zur Diagnose der Massenstromsensoren eingesetzt werden.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung wird nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine Fließbank in schematischer Ansicht und

Fig. 2 ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Figur 1 zeigt eine Fließbank 10 in einer schematischen Ansicht. Über eine trichterförmige Aufnahmeöffnung 12 tritt Luft in Strömungsrichtung A in die Fließbank ein. Stromabwärts von der Einlassöffnung 12 ist der Kopf eines Einsteck-Luftmassensensors zu erkennen, dessen Messbereich von dem Luftstrom umspült wird. Die Fließbank ist jedoch keineswegs auf Einsteck-Luftmassensensoren beschränkt, sondern es können auch beliebige Luftmassensensoren in dem Strömungskanal kalibriert werden. Hierbei kann beispielsweise der zu kalibrierende Luftmassensensor bereits zusammen mit einem Rohrabschnitt 16 eingesetzt in dem Strömungskanal platziert werden.

Weiter stromabwärts sind Sensoren für Temperatur 18, relative Luftfeuchte 20 und Druck 22 vorgesehen. Stromabwärts der Sensoren befindet sich eine verstellbare Düse 24. Bei der in Figur 1 dargestellten Düse handelt es sich um eine sogenannte Lavaldüse, deren Strömungsverhältnisse besonders gut analysiert sind. Ist im engsten Querschnitt die Schallgeschwindigkeit erreicht, so wird die Ausflussmenge auch bei einem Sinken des saugseitigen Drucks (stromabwärts der Düse) nicht beeinflusst. Auch durch ein Steigen des saugseitigen Drucks wird die Ausflussmenge nicht beeinflusst, solange der überkritische Betrieb beibehalten wird. Wird die Lavaldüse 24 im überkritischen Bereich betrieben, so ist die auf den zu kalibrierenden Massenstromsensor treffende Ausflussmenge der

Düse unabhängig von Schwankungen in der Pumpförderleistung, solange das kritische Druckverhältnis nicht überschritten wird.

Der Massenstrom durch die Düse 24 wird über einen Dorn 26 dynamisch eingestellt, der entlang der Richtung des Doppelpfeils B verfahrbar ist. Gestellt wird der Dorn 26 über den Antrieb 28, der von der Steuereinrichtung (nicht dargestellt) angesteuert wird. Saugseitig ist in dem Strömungskanal ein Drucksensor 30 vorgesehen. Der Drucksensor 30 ermöglicht es, zusammen mit dem Drucksensor 22 festzustellen, welches Druckverhältnis an der Düse 24 vorliegt und daraus zu folgern, ob bereits der überkritische Betrieb erreicht wurde. Der Luftstrom durch den Strömungskanal wird von der Pumpe 32 erzeugt.

Während des Kalibrierens des Luftmassensensors 14 wird nach einem vorgegebenen Zeit-Wegprofil die Stellung des Dorns 26 geändert. Die Änderung erfolgt kontinuierlich. Da im überkritischen Bereich der Massenstrom aus der Düse 24 unabhängig von dem saugseitigen Druck ist, kann der zu kalibrierende Massenstromsensor 14 besonders zuverlässig kalibriert und/oder überprüft werden.

Figur 2 zeigt die einzelnen Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens. In Schritt 34 wird der zu kalibrierende Sensor in den Strömungskanal eingesetzt. In Schritt 36 wird ein Strom durch die Düse aufgebaut. In Schritt 38 wird der Dorn 26 kontinuierlich herausgezogen nach einem vorbestimmten Weg-Zeit-Profil, das das Massenstrom-Zeit-Profil durch die Düse festlegt. Gleichzeitig werden in Schritt 40 die Messsignale des zu kalibrierenden Massenstromsensors erfasst.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Kalibrieren eines Massenstromsensors (14); mit einem Strömungskanal und einer Halterung für einen Massenstromsensor in dem Strömungskanal, der an einem Ende mit einer Pumpe (32) verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Halterung und Pumpe eine verstellbare Drosseleinrichtung (24, 26) vorgesehen ist, die über eine Steuereinrichtung während des Kalibrierungsvorganges nach einem vorbestimmten Zeit-Weg-Profil verstellbar ist und bei Betrieb der Pumpe eine überkritische Strömung erzeugt, bei der im engsten Querschnitt der Drosseleinrichtung das strömende Medium Schallgeschwindigkeit besitzt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als verstellbare Drosseleinrichtung eine variable Düse vorgesehen ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die variable Düse (24) ein sich konisch erweiternden Abschnitt und einen in dem Abschnitt angeordneten Dorn (26) aufweist, der über einen Stellantrieb (28) in dem Abschnitt verstellbar ist, um den freien Querschnitt in dem Abschnitt zu verändern.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Dorn (26) die Form eines Kegels oder Kegelstumpfes aufweist, der zentral in dem Abschnitt angeordnet ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Dorn entlang einer Längsachse (B) verstellbar ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Luftmassensensor und Drosseleinrichtung Sensoren (18, 20, 22) zum Erfassen von Zustandsgrößen des Luftstroms vorgesehen sind.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zum Messen von Temperatur, relativer Luftfeuchte und/oder Druck vorgesehen sind.
8. Verfahren zum Kalibrieren eines Luftmassensensors (14), das die folgenden Verfahrensschritte aufweist:
  - ein zu kalibrierender Massenstromsensor wird in einem Strömungskanal angeordnet,
  - in dem Strömungskanal wird ein Massenstrom entsprechend einem Massenstrom-Zeit-Profil erzeugt,
  - wobei der Massenstrom durch eine Drosseleinrichtung mit einer überkritischen Strömung tritt, bei der im engsten Querschnitt der Drosseleinrichtung das strömende Medium Schallgeschwindigkeit besitzt.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass als Drosseleinrichtung eine verstellbare Düse vorgesehen ist, die entsprechend einer vorgegebenen Zeitkurve den Massenstrom an dem zu kalibrierenden Massenstromsensor vorbei variiert.